



AHORRO ENERGÉTICO INHERENTE A INFILTRACIONES DE AIRE POR CORRECCIONES EN EL DISEÑO DE CARPINTERÍAS UTILIZADAS EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

Vicente Leonardo Volantino, Edgar Jorge Cornejo Siles
 Unidad Técnica Habitabilidad Higrotérmica, INTI Construcciones
 Av. Gral. Paz 5445, San Martín, Prov. Buenos Aires, ARGENTINA
 Fax: (011) 4753-5784 - E-mail: edcorne@inti.gov.ar, vvolanti@inti.gov.ar

RESUMEN: Se presentan determinaciones del caudal de aire infiltrado en función de la presión de ensayo, efectuadas en una carpintería de aluminio, corrediza de dos hojas, utilizada en la construcción de viviendas de interés social. A partir de modificaciones introducidas en el diseño de las felpas empleadas para mejorar la hermeticidad y con el agregado de otra en el cruce de hojas, se repitieron los mismos ensayos de evaluación sobre la carpintería. Con estos cambios, se obtuvieron grandes diferencias en el caudal de aire infiltrado y por ende, también en las pérdidas de calor debido a las infiltraciones de aire. El ahorro de energía conseguido por este concepto es muy importante.

PALABRAS CLAVE: infiltraciones de aire, carpinterías, diferencia de presión, ahorro energético.

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas debido a las infiltraciones de aire en forma natural a través de una ventana, es el resultado de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior y la presión inducida por el viento. Las pérdidas infiltrativas naturales se pueden estimar a partir de mediciones efectuadas a un diseño de carpintería que es sometida a distintas diferencias de presión entre ambos lados de la misma.

Los ensayos que definen las infiltraciones de aire a través de una ventana, se realizan siguiendo los lineamientos de la Norma IRAM 11523, en la que se establecen ciertas condiciones sobre el espécimen bajo prueba como así también los dispositivos necesarios para su implementación. En ésta Norma, se estipula que la diferencia de presión de ensayo debe ser de 100 Pascales, para luego medir el caudal de aire infiltrado.

Pero, para poder obtener una performance global de la respuesta de la carpintería, se requiere determinar su comportamiento a diferentes presiones, ya que de esta manera se puede evaluar distintas situaciones de utilización, sea por su empleo en localidades del país con características climáticas disímiles, principalmente por los niveles de velocidad de viento que corresponda a cada una, o por tratarse de un edificio en altura, en que las ventanas de los pisos superiores son sometidos a presiones mayores que la de los pisos inferiores.

En función de relevamientos realizados y documentación analizada, se ha observado que aquellas construcciones utilizadas para viviendas de interés social, en general tienen un nivel elevado de infiltraciones de aire a través de las carpinterías, con la consecuente pérdida de energía calórica que ello acarrea. Este comentario también puede extenderse a edificaciones de clase media, en menor grado por la calidad de la carpintería.

La cantidad de flujo de aire está relacionada con la diferencia de presión, mediante la expresión:

$$\Phi_{ca} = c. (\Delta P)^x \quad (1)$$

donde: Φ_{ca} es la cantidad de flujo de aire, en m³/h; ΔP es la diferencia de presión a ambos lados de la carpintería, en Pa; c es un coeficiente de pérdidas y x, el exponente de flujo.

Luego, la infiltración de aire por unidad de longitud de junta, se halla con la siguiente expresión:

$$I = \Phi_{ca} / L \quad (2)$$

donde I, está dado en m³/h x m lineal de junta del cerramiento y L es la longitud de la junta del cerramiento, en metros.

Las pérdidas de calor debido a las infiltraciones de aire se obtienen como:

$$Q_{inf} = \Phi_{ca} \times C_p \times \rho / 3600 \quad (3)$$

siendo C_p el calor específico a presión constante, en J/kg.K; ρ la densidad del aire, en kg/m³ y 3600, es para convertir Q_{inf} en W/K.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Se determina la infiltración de aire a través de las juntas de la ventana mediante el conocimiento del caudal de aire infiltrado, dado en m^3/h y relacionado con la longitud de la junta (en m). Para su obtención, se utiliza el método de ensayo establecido en la norma IRAM 11523, que permite hallar el caudal de aire que atraviesa por las juntas, cuando se aplican diferentes valores de presión de referencia.

En primer lugar, se efectúa la instalación del premarco en un muro construido para tal fin y se lo deja fraguar durante aproximadamente 96 horas, teniendo en cuenta las condiciones del ambiente de la zona de ensayo, principalmente si se presentan altos niveles de humedad relativa. Luego, se realiza el montaje de la ventana, dejándose fraguar el sellado empleado durante la instalación, durante al menos 48 horas.

El ensayo consiste en colocar la ventana sobre una cara de una cámara de aire presurizada, en la que se mide el caudal de aire que pasa a través de ella cuando se ejerce una presión positiva, durante por lo menos 10 segundos como mínimo hasta alcanzar una medición estable de la velocidad de viento insuflada por los forzadores de aire. En una primera etapa, la ventana es sellada en todas las juntas existentes, a fin de no considerar lo infiltrado por las aberturas existentes en ella y entre el cerramiento, el vano y la cámara de medición. En una segunda etapa, se repite la prueba pero en este caso se retira todo el sellado, para posibilitar la determinación del caudal de aire a través del conjunto formado por el cerramiento y el muro sobre el que está instalado. La diferencia entre ambas mediciones, define el caudal de aire neto que atraviesa la carpintería.

Si bien la Norma IRAM 11523 establece una presión de ensayo de 100 Pascales, para este trabajo se efectuaron mediciones a diferentes presiones con el objeto de obtener una función que permita correlacionarla con el caudal de aire. Los valores de presión que se fijaron fueron tomados cada 10 Pa hasta la presión de referencia, con el agregado de dos valores mayores que permitieron obtener una mejor regresión de la función. Para presiones menores de 40 Pa, no se pudo conseguir determinaciones del caudal de aire infiltrado, por limitaciones del equipo de ensayo. En la Tabla 1 se observan tales presiones de ensayo empleadas y sus correspondientes velocidades de viento.

| Presión Pa | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 150 | 200 |
|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Velocidad de viento km/h | 29,3 | 32,76 | 35,89 | 38,77 | 41,44 | 43,96 | 46,34 | 56,75 | 65,53 |

Tabla 1: Relación entre presiones de ensayo y velocidades de viento

EQUIPAMIENTO UTILIZADO

El equipamiento está compuesto por los siguientes elementos:

Cámara de ensayo: consiste en una cámara de aire hermética con un lado abierto donde se deberá colocar la muestra a ensayar. Ésta cámara es lo suficientemente resistente para soportar presiones hasta 200 kg/m^2 , sin que la misma presente deformaciones que pueda influenciar en la determinación de los resultados.

Por otra parte, posee una entrada de aire forzada por un ventilador externo. Además tiene tomas de presión, para la lectura de la diferencia de presión interior/exterior.

En cuanto al ventilador, sus características son 10HP de potencia y 2800 rpm, con una capacidad máxima de 3400 Pa. Cuenta con un registro de ingreso de aire para el control de caudal.

También posee una columna de agua inclinada, para medir la diferencia de presión, en el rango de (0 a 150) mm columna de agua y precisión $\pm 2 \text{ mm}$

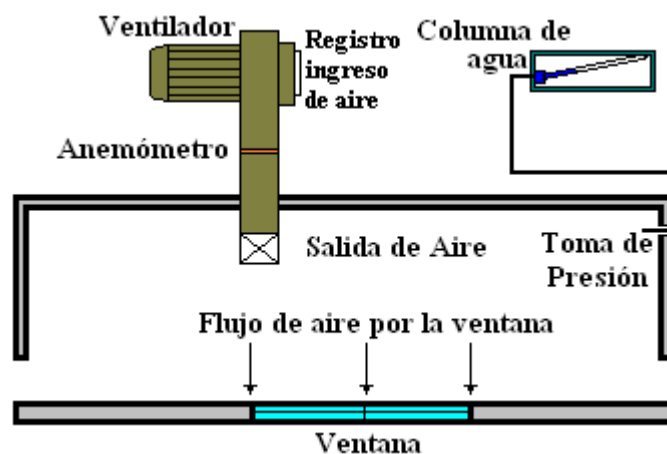


Figura 1: Esquema del equipo de ensayo de infiltraciones de aire

Se utiliza un anemómetro, necesario para medir la velocidad de aire en el conducto de ingreso a la cámara de medición y la posterior determinación del caudal de aire, rango 0 a 30 m/s, precisión 0,01 m/s

DESCRIPCIÓN DE LA CARPINTERÍA

Una Ventana con perfiles de aluminio, corrediza de dos hojas, con vidrio simple Float incoloro de 4 mm, de medidas 1,0 m de ancho x 1,0 m de alto.



Figura 2: Foto y esquema de la carpintería ensayada

MEDICIONES REALIZADAS

Las mediciones se efectuaron en dos etapas. En primera instancia se ensayó la carpintería original, obteniéndose como resultado los valores del caudal de aire infiltrado para cada presión. Los datos hallados se presentan en la Tabla 2, en la que aparecen los valores correspondientes a la ventana sellada, la ventana sin sellar y la diferencia entre ambas, es decir, el caudal de aire que pasa exclusivamente por las juntas de la carpintería. A partir de ésta última, y mediante la aplicación de la expresión (2), se determinó las infiltraciones de aire por unidad de longitud de junta

| Presión Pa | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 150 | 200 |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Caudal de aire (m³/h) Ventana sellada | 103,5 | 121,0 | 142,0 | 153,7 | 168,8 | 180,5 | 187,5 | 233,3 | 265,6 |
| Caudal de aire (m³/h) Ventana sin sellar | 34,1 | 45,5 | 53,9 | 62,4 | 69,1 | 77,9 | 80,8 | 106,1 | 124,2 |
| Caudal de aire (m³/h) Juntas de la ventana | 69,4 | 75,5 | 88,1 | 91,3 | 99,7 | 102,6 | 106,7 | 127,1 | 141,4 |
| Infiltraciones de aire por unidad de junta m³/h.m | 15,0 | 16,3 | 19,0 | 19,7 | 21,5 | 22,2 | 23,1 | 27,5 | 30,6 |

Tabla 2: Caudal de aire e infiltraciones de aire por unidad de longitud de junta para cada presión de ensayo.



Figura 3: Ventana sellada en las juntas

Con los datos obtenidos de la medición, se pudo graficar la evolución del caudal de aire en función de la presión de ensayo, para las dos situaciones de prueba de la ventana y el correspondiente resultado para la diferencia entre ambas (Figura 4).

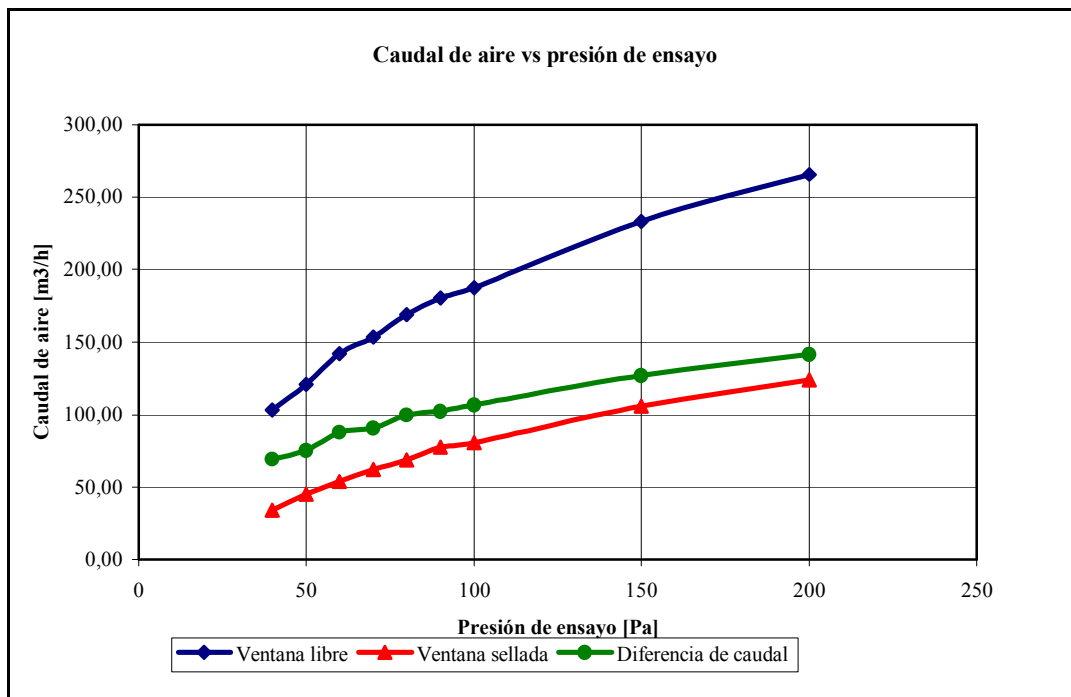


Figura 4: Variación del caudal de aire con la presión de ensayo

De la Tabla 2, se destaca el valor del caudal de aire por unidad de junta correspondiente a la presión de ensayo de 100 Pa. Precisamente, tal presión es la que estipula la Norma IRAM 11523 para la prueba de infiltraciones de aire para todas las carpinterías y es la que utiliza la Norma IRAM 11507-1 para clasificar a las mismas según este comportamiento físico (los otros requisitos de clasificación son referidos a la estanquidad al agua y a la resistencia a la acción del viento). La clasificación normativa según la infiltración es la se describe en la Tabla 3.

| Clasificación según la infiltración | Caudal de aire por metro de junta m³/h.m | Designación |
|-------------------------------------|------------------------------------------|-------------|
| IRAM A1 | Mayor que 4,01 hasta 6,00 | Normal |
| IRAM A2 | Mayor que 2,01 hasta 4,00 | Mejorada |
| IRAM A3 | Hasta 2,00 | Reforzada |

Tabla 3: Clasificación de IRAM 11507-1 según la infiltración de las carpinterías.

Comparando el valor obtenido en el ensayo para 100 Pa, del caudal de aire por metro de junta de 23,1 m³/h.m, se observa que el mismo no clasifica dentro de los requisitos definidos en la Norma mencionada. Por este motivo, se debió efectuar ciertas modificaciones en el diseño de las felpas existentes en la carpintería, para alcanzar un comportamiento acorde con lo exigido para este tipo de prestación.

MEJORAS INTRODUCIDAS EN LA CARPINTERÍA

Durante el ensayo de infiltración de aire antes descrito, se realizó un análisis de las pérdidas existentes a lo largo de todas las juntas de la carpintería, con el objeto de detectar los puntos críticos y de esta manera encarar las correcciones que deberían ejecutarse en el diseño original. Para determinar donde se encontraban las mayores pérdidas de aire, se sometió a la carpintería a una presión de 100 Pa, mientras se recorría por toda la extensión de las juntas con un anemómetro AHLBORN del tipo turbina (Figura 5) y se comparaban los valores registrados en cada localización. Obviamente, los máximos se obtuvieron en la parte superior de las hojas de la carpintería, ya que al tratarse de una ventana corrediza para la operación de montaje de las hojas dentro de las guías, queda inexorablemente un mayor juego en esta ubicación.

Con la información obtenida de las pérdidas de aire, se efectuaron una serie de correcciones a la carpintería original. Las mismas consistieron en un cambio de la felpa por otra de mayor densidad, en el cierre y en el cruce de hojas, colocación de tapones de plástico en los perfiles de las hojas y posteriormente, se agregó felpa para cubrir totalmente el cruce de hoja (ver Figura 6 y fotos de la Figura 7).



Figura 5: Anemómetro midiendo fugas de aire por las juntas de la ventana

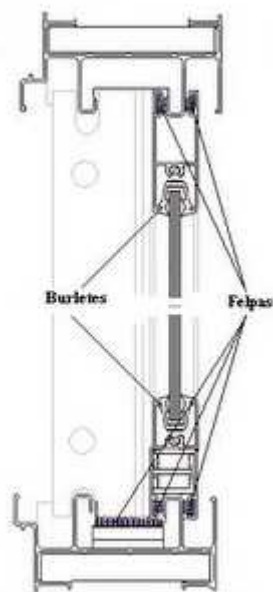


Figura 6: Ubicación de las felpas en el corte de la ventana



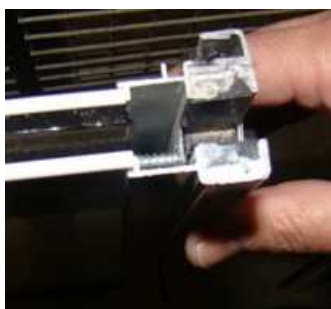
Felpa cruce de hoja



Felpa cruce de hojas libre



Zona entre cruce y paredes



Perfil de hoja sobre tapón



Perfil mostrando tapón



Perfil con tapón colocado

Figura 7: Modificaciones realizadas en de la carpintería.

Con las modificaciones descritas se sometió a la ventana a las mismas presiones de aire que las aplicadas en la primera etapa y se midió el caudal de aire que pasa a través de ella. Nuevamente, dicha medición se realizó, en primer lugar, con la ventana sellada y en segundo lugar, con las juntas sin sellar, determinándose el caudal de aire infiltrado como la diferencia entre estas dos mediciones. Estos valores y las infiltraciones de aire hallados se presentan en la Tabla 4.

| Presión Pa | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 150 | 200 |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------|-------|
| Caudal de aire (m³/h) Ventana sellada | 36,6 | 46,5 | 55,4 | 63,1 | 70,1 | 76,5 | 82,2 | 105,9 | 124,7 |
| Caudal de aire (m³/h) Ventana sin sellar | 47,1 | 59,2 | 69,1 | 77,6 | 85,1 | 92,1 | 98,5 | 125,4 | 147,3 |
| Caudal de aire (m³/h) Juntas de la ventana | 10,5 | 12,7 | 13,7 | 14,4 | 15,0 | 15,7 | 16,2 | 19,5 | 22,7 |
| Infiltraciones de aire por unidad de junta m³/h.m | 2,26 | 2,74 | 2,96 | 3,12 | 3,25 | 3,39 | 3,51 | 4,22 | 4,89 |

Tabla 4: Caudal de aire e infiltraciones de aire por unidad de longitud de junta para cada presión de ensayo de la carpintería modificada.

Realizando el gráfico de la evolución del caudal de aire en función de la presión de ensayo, para las dos situaciones de prueba de la ventana y el correspondiente resultado para la diferencia entre ambas, como se observa en la Figura 8.

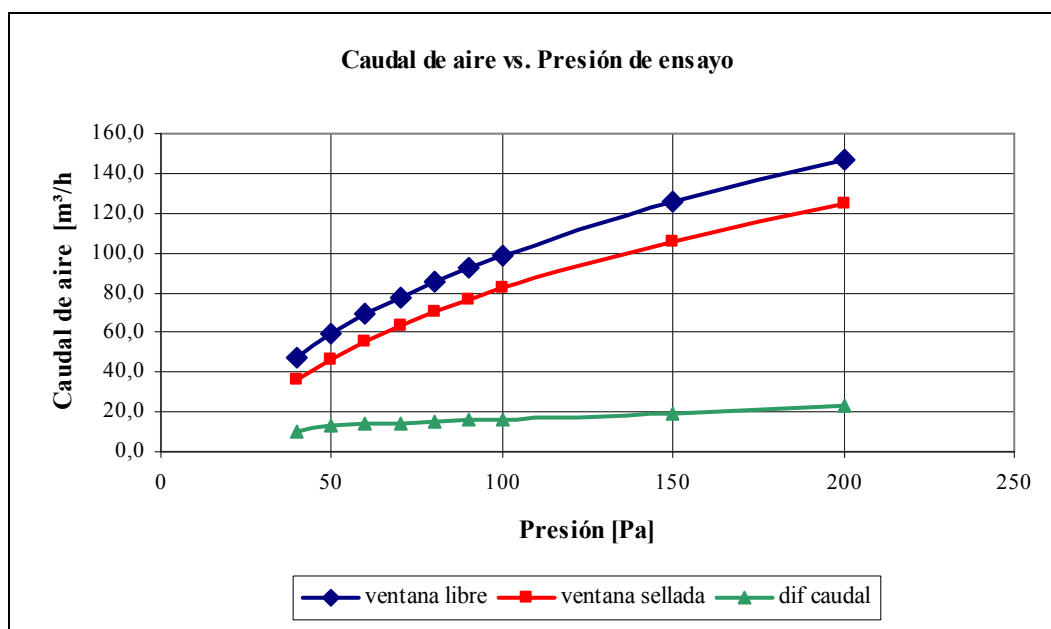


Figura 8: Variación del caudal de aire con la presión de ensayo de la carpintería modificada

Como se observa en la tabla anterior, los datos de infiltraciones de aire son muchos menores que en el caso de la carpintería original, de manera tal que para 100 Pa, el valor correspondiente es de 3,51 m³/h.m, que comparado con los requisitos normativos de clasificación de las ventanas exteriores dados en la Tabla 3, queda designada como “Mejorada”.

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Utilizando la expresión (3), se obtuvieron las pérdidas de calor debido a las infiltraciones de aire (Q_{inf}), para cada presión de aire empleada en los ensayos antes descritos, tanto para la carpintería original como para la modificada. Los resultados se detallan en la Tabla 5.

| Presión Pa | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 150 | 200 |
|--------------------------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Pérdidas de calor (W/K) Ventana original | 25 | 27,2 | 31,7 | 32,9 | 35,9 | 37,0 | 38,4 | 45,8 | 50,9 |
| Pérdidas de calor (W/K) Ventana modificada | 3,8 | 4,6 | 4,9 | 5,2 | 5,4 | 5,7 | 5,9 | 7,0 | 8,2 |

Tabla 5: Pérdidas de calor debido a infiltraciones de aire de la carpintería original y de la carpintería modificada.

AHORRO ENERGÉTICO

Con el objeto de determinar el ahorro energético que puede lograrse a partir de las mejoras introducidas en la carpintería original, se debe hallar para cada caso ensayado la transferencia energética de calor debido a las infiltraciones de aire. Esto significa que se debe afectar al valor de Q_{inf} por el producto de la diferencia de temperaturas entre el aire interior y el aire exterior.

Para ello, se consideró que la ventana se encontraba instalada en una edificación destinada a vivienda emplazada en una localidad del conurbano bonaerense, por ejemplo, San Miguel, localidad que presenta una temperatura de diseño mínima de 1,3 °C para las condiciones invernales (según IRAM 11603), valor éste que se adopta como temperatura del aire exterior. Por otra parte, tal como se mencionó anteriormente, el uso de esta carpintería está destinado a viviendas de interés social, para las que se asume un valor de temperatura del aire interior de 18 °C que corresponde al nivel mínimo de confort higrotérmico. En consecuencia resulta una diferencia de temperatura de 16,7 °C.

En la Tabla 6, se detalla la transferencia de energía por unidad de tiempo (Q) de las dos condiciones de la carpintería, original y modificada, para las diferentes presiones de ensayo. También se presenta el ahorro energético que se logra con las mejoras introducidas.

| Presión Pa | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 150 | 200 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Q (W) Ventana original | 417 | 454 | 530 | 549 | 600 | 617 | 642 | 765 | 851 |
| Q (W) Ventana modificada | 63 | 76 | 82 | 87 | 90 | 94 | 98 | 117 | 136 |
| Ahorro de potencia (%) | 84,9 | 83,2 | 84,4 | 84,2 | 84,9 | 84,7 | 84,8 | 84,6 | 84,0 |

Tabla 6: Comparación de la transferencia energética en las carpinterías original y modificada y ahorro de energía.

Se observa que se logra un ahorro de energía del orden del 84% para cualquier presión de ensayo (o velocidad de viento), como consecuencia de haber introducido modificaciones indicadas en la carpintería de aluminio original.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos sobre la carpintería de aluminio con dos hojas corredizas, utilizada en la construcción de viviendas de interés social, presentan grandes pérdidas de calor debido a las infiltraciones de aire, de tal magnitud que no alcanzan a clasificar dentro de los requisitos que establece la Norma IRAM 11507-1.

Con los ensayos de laboratorio dedicados a determinar las infiltraciones de aire en las carpinterías, se puede no sólo cuantificar la magnitud que ésta representa, si no que además, se puede determinar la distribución de la fuga de aire por las juntas y hallar los máximos valores.

Mediante la introducción de cambios en el diseño de las felpas y el agregado de otros inexistentes, se logró conseguir que la misma carpintería tuviese una mejor prestación. Esta mejora permite concebir un producto que brinda un ahorro de energía solamente debido a las infiltraciones de aire del orden del 84%.

Las etapas siguientes de investigación en el área de evaluación de carpinterías, están orientadas a comparar las distintas pérdidas de energía, tanto las debidas a infiltraciones de aire como las correspondientes a conducción de calor. Simultáneamente, se está implementando una base de datos que permita tener datos estadísticos de ensayos que evalúan los comportamientos físicos de las carpinterías, diferenciadas por su diseño y por el material de fabricación.

REFERENCIAS

- IRAM 11523 (2001). Método de ensayo de infiltración de aire.
IRAM 11507-1 (2001) Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Requisitos básicos y clasificación.
B. James, A. Shapiro; S. Flanders, D. Hemenway (1996). Testing the energy performance of windows in cold climates. Report to The State of Vermont Division.
V. L. Volantino (2003). Como se mide la performance de una ventana. Actas del IV Congreso SISTECCER

ABSTRACT

Window air leakage determinations as a function of test pressure are presented. It is an aluminum double sliding window used in social interest residential buildings. The same evaluation tests were performed after modifications in felt design to improve window air tightness and addition of another felt strip in sash crossing. Large differences in window air leakage and consequently heat loss were obtained with these changes. Energy savings obtained through this concept are very important.

Keywords: air leakage, windows, pressure difference, energy saving.